

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE RELE ARUS LEBIH DENGAN
KARAKTERISTIK *INVERSE* BERBASIS ARDUINO
PADA LABORATORIUM SISTEM DAYA ELEKTRIK**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AMRIZAL KARIM AMRULLOH

NIM. 145060300111040

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN
RANCANG BANGUN PROTOTIPE RELE ARUS LEBIH DENGAN
KARAKTERISTIK *INVERSE* BERBASIS ARDUINO
PADA LABORATORIUM SISTEM DAYA ELEKTRIK

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AMRIZAL KARIM AMRULLOH
NIM. 145060300111040

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 9 Maret 2018

Dosen Pembimbing I

Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM
NIP. 19730520200801 1 013

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM
NIP. 19730520200801 1 013

JUDUL SKRIPSI:

RANCANG BANGUN PROTOTIPE RELE ARUS LEBIH DENGAN KARAKTERISTIK *INVERSE* BERBASIS ARDUINO PADA LABORATORIUM SISTEM DAYA ELEKTRIK


Nama Mahasiswa : Amrizal Karim Amrulloh

NIM : 145060300111040

Program Studi : Teknik Elektro

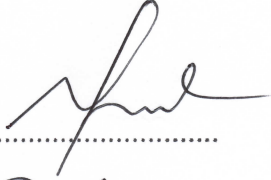
Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

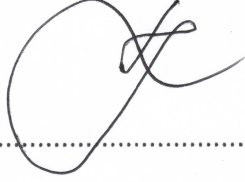
KOMISI PEMBIMBING:

Ketua : Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM. 

Anggota : 

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji I : Ir. Mahfudz Shidiq, M.T. 

Dosen Penguji II : Ir. Hery Purnomo, M.T. 

Dosen Penguji III : Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T. 

Tanggal Ujian : 23 Februari 2018

SK Penguji : 409 /UN10.F07/ SK/ 2018

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 9 Maret 2018

Mahasiswa,



AMRIZAL KARIM AMRULLOH
NIM. 145060300111040

Daftar Riwayat Hidup

Nama : Amrizal Karim Amrulloh

Tempat / tanggal lahir : Malang, 19 Februari 1996

Alamat asal : Jalan Raya Sengkaling GG.Sidodadi No 6 Kabupaten
Malang

Alamat di Malang : Jalan Raya Sengkaling GG.Sidodadi No 6 Kabupaten
Malang

Riwayat pendidikan

1. TK : TK BA Restu Tahun : 2000 – 2002
2. SD : SD Negeri Kauman 1 Malang Tahun : 2002 – 2008
3. SMP : SMP Negeri 1 Malang Tahun : 2008 – 2011
4. SMA : SMA Negeri 4 Malang Tahun : 2011 – 2014
5. Perguruan tinggi : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas
Brawijaya Malang Tahun : 2014 – 2018

*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:
Aminudin Afandhi dan Nurul Hidayati*

RINGKASAN

Amrizal Karim Amrulloh, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2018, *Rancang Bangun Prototipe Rele Arus Lebih Dengan Karakteristik Inverse Berbasis Arduino pada Laboratorium Sistem Daya Elektrik*. Dosen Pembimbing: Hadi Suyono, Ir., S.T., M.T., Ph.D., IPM.

Overcurrent Relay (OCR) berfungsi memproteksi sistem kelistrikan pada jaringan instalasi dalam upaya mencegah kerusakan pada peralatan. *Relay* proteksi konvensional terdiri dari *relay* tipe elektromagnetik dan tipe statik; keduanya mempunyai banyak kekurangan dalam melindungi sistem tenaga listrik dan peralatan yang mendukung sistem.

Penelitian ini, bertujuan: 1). Merancang prototipe OCR dengan karakteristik *inverse* menggunakan sensor arus ACS-712 dan mikrokontroler Arduino Mega 2560; 2) Memperoleh prototipe OCR dengan karakteristik *inverse* yang bekerja dalam kondisi baik, akurat, dan responsif. Kerja prototipe OCR dengan karakteristik *inverse* dianalisis melalui tiga pengujian, yaitu: 1). *Resetting Ratio*, 2). Karakteristik *normally inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*, *long-time inverse*, dan 3). Gangguan pada sistem dengan beban lebih.

Hasil penelitian menunjukkan: 1). Nilai *resetting ratio* prototipe OCR dengan karakteristik *inverse* adalah 0,98, nilai arus *pick up* (0,5A) lebih tinggi daripada nilai arus *drop off* (0,49A), Berdasarkan standar pedoman “*The Art and Science of Protective Relaying*” dan PT. PLN, rele dengan nilai *resetting ratio* 0,9-0,98 adalah keadaan baik; maka prototipe OCR dengan karakteristik *inverse* dinilai dalam keadaan baik.; 2). Rata-rata kesalahan waktu trip prototipe OCR dengan karakteristik *inverse* (*normally inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*, dan *long inverse*) yaitu 1,51% ; 2,65%; 2,34%; dan 2,37% atau dibawah standar IEC 60255, maka OCR dinilai akurat. 3). Hasil pengujian gangguan beban lebih menunjukkan bahwa semakin besar arus gangguan (1,54-2,12A) mengakibatkan semakin cepat waktu trip (14,33-1s), maka prototipe OCR dengan karakteristik *inverse* pada penelitian ini dinilai responsif.

Kata kunci: prototipe rele arus lebih, OCR (*Overcurrent Relay*), karakteristik *inverse*, mikrokontroler Arduino

SUMMARY

Amrizal Karim Amrulloh, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, February 2018, ***Design Of Overcurrent Relay Prototype with Inverse Characteristic Arduino-Based in Electric Power System Laboratory***, Academic Supervisor: Hadi Suyono, Ir., S.T., M.T., Ph.D., IPM.

Overcurrent Relay (OCR) to protect electrical system on the installation network to prevent equipment damage. Conventional protection relays consist of electromagnetic type and static type which has many-weaknesses in protecting power systems and equipment that support the system.

This research, aimed at: 1). designing OCR prototype with inverse characteristic by using ACS-712 current sensor and Arduino Mega 2560 microcontroller; 2). Obtaining OCR prototype with inverse characteristics that works good, accurate, and responsive. Performances of OCR prototype with inverse characteristics analyzed through three testing, namely: 1). Resetting ratio, 2). Characteristic of normally inverse, very inverse, extremely inverse, long-time inverse, and 3). Overload fault.

The results showed three main results, there were: 1). The pick up value was 0.5A, drop off value was 0.49A, therefore the resetting ratio value was 0.98. Based on guidance standards “The Art and Science of Protective Relaying” and PT. PLN, OCR prototype with resetting ratio value 0.9-0.98 was rated in good condition. 2). Average error of trip time in OCR prototype with inverse characteristics includes normally inverse, very inverse, extremely inverse, and long-time inverse; as follows: 1.51%; 2.65%; 2.34%; and 2.37%. Based on IEC 60255 standards, accurate trip time error values are below 7.5%, thus OCR prototypes are considered accurate. 3). The result of overload fault testing showed that when the fault current (1.54-2.12A) was getting bigger then trip time (14.33-1s) was getting faster too. This condition made OCR prototype with inverse characteristic was considered responsive.

Keywords: *overcurrent relay prototype, OCR (Overcurrent Relay), inverse characteristic, Arduino microcontroller*

PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya serta petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Prototipe Rele arus lebih dengan Karakteristik *Inverse* Berbasis Arduino pada Laboratorium Sistem Daya Elektrik”. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW sebagai suri tauladan terbaik sepanjang masa. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penyusunan laporan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Ibu Ir. Nurussa’adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc selaku KKDK Konsentrasi Teknik Energi Elektrik yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
5. Bapak Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM selaku pembimbing utama, yang senantiasa memberikan ilmu, waktu, arahan, dan masukan yang baik dalam penelitian maupun penulisan.
6. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS. selaku dosen pembimbing akademik yang sabar dalam mengarahkan dalam perkuliahan selama ini.
7. Kedua orang tua penulis, Bapak Aminudin Afandhi dan Ibu Nurul Hidayati atas segala do’a, pengorbanan, inspirasi, nasehat, kasih sayang, perhatian, ketegasan, dan kesabarannya dalam membesarkan dan mendidik penulis. Serta dua kakak dan adik tercinta, Ratih Rachma Islami, Diajeng Rochma Islami, dan Qotrunnada Nafi’ Islami atas semangat, motivasi dan dukungannya selama penulis kuliah.
8. Bapak Indra Setyawan, S.ST sebagai Laboran di Laboratorium Sistem Daya Elektrik atas semua fasilitas dan dukungan dalam menyelesaikan pengerjaan skripsi.

9. Para Dosen Pengajar, karyawan, pranata laboratorium di Program Studi Teknik Elektro Universitas Brawijaya, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bekal ilmu dan pengalaman pada penulis dalam menyelesaikan studi.
10. Teman – teman Konsentasi Energi Elektrik Imantaka, Dimas, Wildan, Septi, Oliv, Anthony, Nola, Pegy, Dony, Hasan, Vio, Dani, Anang, Anwi, Cinta, Rakhmat, Agus, Albin, Aldias, Amir, Andy, Arifin, Bimo, Candra, Charis, Dammegi, Dennis, Dini, Eldi, Fadhil, Fariz, Galih, Jahdan, Kemal, Luthfan, Ilham, Ikhsan, Okto, Daka, Ridho, Riko, Salman, Tumpak, Sekty, Tofan, Aldo, Tri Wahyu, dan Yashinta yang saling mendukung dan selalu memberikan semangat kepada penulis.
11. Teman – teman DIODA 2014 atas segala bantuan secara moril dan materil selama menjalani studi.
12. Keluarga besar Mahasiswa Teknik Elektro atas pengalaman dan dukungan selama menjalani masa studi.
13. Teman-teman Laboratorium Sistem Daya Elektrik 2014 (Wildan, Revo, Hamid, Riko, Sipa), konsentrasi Energi Elektrik 2014, dan teman-teman Dioda 2014 atas segala dukungan dan motivasinya selama penulis di perkuliahan.
14. Teman-teman Laboratorium Sistem Daya Elektrik angkatan 2013 dan 2015 atas segala dukungan dan motivasinya selama penulis di perkuliahan.
15. Teman-teman Workshop Aeronautika angkatan 2012-2016 atas kerjasamanya selama menjadi anggota aeronautika dan dukungan dalam pengerjaan skripsi.
16. Seluruh teman- teman serta semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis menyebut satu-persatu, terimakasih banyak atas bantuan dan dukunganya

Semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang turut membantu skripsi ini terselesaikan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih kekurangan, dan terbuka menerima kritik dan saran untuk perbaikan. Skripsi ini diharapkan memberikan manfaat bagi kita semua. Aamiin.

Malang, Maret 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	3
PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Dasar Sistem Proteksi	5
2.1.1 Gangguan Sistem Proteksi	5
2.1.2 Daerah Sistem Proteksi	5
2.1.3 Pembagian Tugas Sistem Proteksi	7
2.2 Rele Pengaman	7
2.2.1 Fungsi Rele Pengaman.....	7
2.2.2 Tujuan Rele Pengaman	7
2.2.3 Syarat-syarat Rele Pengaman	8
2.3 Rele Arus Lebih	9
2.3.1 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih	9
2.3.2 Karakteristik Rele Arus Lebih	9
2.3.2.1 Karakteristik <i>Invers Time</i> (Waktu Terbalik).....	10
2.4 Pengertian Rancang Bangun Prototipe	12
2.5 Sensor Arus ACS-712.....	12
2.6 Arduino MEGA 2560	13
2.7 LCD Shield	13
2.8 Rele	14

2.9	Kontaktor Magnet.....	14
BAB III METODE PENELITIAN		17
3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	17
3.2	Alat dan Bahan	17
3.3	Studi Literatur.....	17
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	18
3.5	Pembuatan Rancangan Prototipe OCR dengan Karakteristik <i>Inverse</i> Berbasis Arduino.....	19
3.6	Pemodelan OCR dengan Karakteristik <i>Inverse</i> Simulink	19
3.7	Pemrograman Rele	20
3.8	Pemrograman Sensor Arus	21
3.9	Pemrograman LCD <i>Shield</i> Arduino.....	22
3.10	Penyediaan Alat Pengujian.....	23
3.11	Penyediaan Alat Ukur dan Alat Bantu Lainnya	25
3.12	Pengujian Alat dan Prototipe.....	25
3.13	Pengujian Prototipe OCR dengan Karakteristik <i>Inverse</i>	27
3.14	Pengambilan Kesimpulan.....	28
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS		29
4.1	Simulasi Model Rele Arus Lebih Karakteristik <i>Inverse</i> dengan Simulink	29
4.1.1	Analisis simulasi Model Rele Arus Lebih Karakteristik <i>Inverse</i>	31
4.2	Pengujian Rele.....	34
4.2.1	Peralatan	35
4.2.2	Prosedur Pengujian.....	35
4.2.3	Hasil Pengujian.....	36
4.2.4	Analisis Hasil Pengujian.....	36
4.3	Pengujian Sensor Arus	36
4.3.1	Peralatan	36
4.3.2	Prosedur Pengujian	37
4.3.3	Hasil Pengujian.....	38
4.3.4	Analisis Hasil.....	40
4.4	Pengujian Prototipe Rele Arus Lebih Karakteristik <i>Inverse</i>	40
4.4.1	Peralatan	40
4.4.2	Prosedur Pengujian	41
4.4.3	Hasil Pengujian.....	42

4.4.3.1 Analisis Arus <i>Pick Up</i> dan <i>Drop Off</i>	42
4.4.3.2 Analisis Karakteristik <i>Normally Inverse</i>	44
4.4.3.3 Analisis Karakteristik <i>Very Inverse</i>	46
4.4.3.4 Analisis Karakteristik <i>Extremely Inverse</i>	47
4.4.3.5 Analisis Karakteristik <i>Long-Time Inverse</i>	49
4.4.3.6 Analisa Karakteristik <i>Perbandingan Normally Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse, dan Long-Time inverse</i>	51
4.4.3.7 Pengujian Gangguan Beban Lebih	53
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN 1	61
LAMPIRAN 2	65
LAMPIRAN 3	77

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai karakteristik inverse.....	12
Tabel 3.1	Peralatan Pengujian	24
Tabel 3.2	Alat ukur dan alat bantu lainya.....	25
Tabel3.3	Hasil pengujian Pick Up dan Drop Off	27
Tabel 3.4	Hasil pengujian OCR dengan karakteristik inverse.....	28
Tabel 3.5	Hasil pengujian gangguan beban lebih.....	28
Tabel4.1	Kondisi dan Pembacaan Arus pada Simulasi OCR Karakteristik <i>Inverse</i> dengan Simulink	31
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Rele (Normaly Open, Normaly Close pada Kondisi Rele dengan Logika dari 2 Pengujian.)	36
Tabel 4.3	Nilai ADC sensor arus, nilai arus di multimeter dari 10 pengujian.	38
Tabel4.4	Nilai kesalahan pembacaan (%) pada sensor arus dari 11 pengujian.....	39
Tabel4.5	Nilai karakteristik inverse.....	42
Tabel4.6	Nilai Resetting Ratio yang diperoleh dari Arus Pick Up dan Drop Off dari 7 kali pengujian.	43
Tabel4.7	Waktu Trip (s) dan kesalahan (%) pada 8 pengujian dari hasil pengujian karakteristik Normally Inverse (Iset=0,5; Td=0,2; Volt=9,6-152,5).....	45
Tabel4.8	Waktu Trip (s) dan kesalahan (%) pada 8 pengujian dari hasil pengujian karakteristik Very Inverse (Iset=0,5; Td=0,2; Volt=9,6-152,5).....	46
Tabel4.9	Waktu Trip (s) dan kesalahan (%) pada 8 pengujian dari hasil pengujian karakteristik Extremely Inverse (Iset=0,5; Td=0,2; Volt=9,6-152,5).....	48
Tabel4.10	Waktu Trip (s) dan kesalahan (%) pada 8 pengujian dari hasil pengujian karakteristik Long-Time Inverse (Iset=0,5; Td=0,2; Volt=9,6-152,5).....	49
Tabel4.11	Perbandingan Waktu Trip <i>Normally Inverse</i> , <i>Very Inverse</i> , dan <i>Extremely Inverse</i> , dan <i>Long-time Inverse</i> (Iset=0,5; Td=0,2; Volt=9,6-152,5).....	51
Tabel4.12	Waktu Trip (s) dan kondisi pada 10 pengujian gangguan beban lebih karakteristik Normally Inverse (Iset=1,5A; Td=0,05s).....	54

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
<i>Gambar 2.1</i>	Daerah pengaman sistem tenaga listrik.....	6
<i>Gambar 2.2</i>	Diagram prinsip kerja <i>inverse</i>	10
<i>Gambar 2.3</i>	Kurva <i>Standard Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse</i>	11
<i>Gambar 2.4</i>	Sensor arus ACS 712.....	12
<i>Gambar 2.5</i>	Board Arduino Mega 2560.....	13
<i>Gambar 2.6</i>	LCD Shield Arduino	14
<i>Gambar 2.7</i>	Rele 5 Volt	14
<i>Gambar 2.8</i>	Struktur kontaktor magnet.....	15
<i>Gambar 2.9</i>	a) Kontaktor dalam keadaan terbuka. b) Kontaktor dalam keadaan <i>interlocked</i>	16
<i>Gambar 3.1</i>	Diagram alir penelitian rancang bangun prototipe OCR dengan karakteristik <i>inverse</i> berbasis Arduino	18
<i>Gambar 3.2</i>	Blok diagram prototipe OCR dengan karakteristik <i>inverse</i> berbasis Arduino	19
<i>Gambar 3.3</i>	Model sistem jaringan dengan OCR dengan karakteristik <i>inverse</i> pada Simulink	20
<i>Gambar 3.4</i>	Diagram pemrograman rele dalam rancang bangun prototipe OCR dengan karakteristik <i>inverse</i>	21
<i>Gambar 3.5</i>	Diagram pemrograman sensor arus ACS-712.....	22
<i>Gambar 3.6</i>	Diagram pemrograman LCD Shield untuk menampilkan data arus gangguan, waktu trip, dan karakteristik <i>inverse</i>	23
<i>Gambar 3.7</i>	Rangkaian pengujian rele	26
<i>Gambar 3.8</i>	Rangkaian pengujian sensor arus	26
<i>Gambar 3.9</i>	Rangkaian pengujian prototipe OCR dengan karakteristik <i>inverse</i> dan gangguan beban lebih.....	27
<i>Gambar 4.1</i>	Model simulasi OCR karakteristik <i>inverse</i>	29
<i>Gambar 4.2</i>	Simulasi karakterisitik <i>Normally Inverse</i> dan Gangguan 1 fasa ke tanah.....	30
<i>Gambar 4.3</i>	Tegangan pada fasa A,B, dan C	31
<i>Gambar 4.4</i>	(a) Grafik arus saat gangguan, (b) Grafik tegangan saat gangguan, (c) Grafik waktu trip.....	33

<i>Gambar 4.5</i> (a) Skematik rele (b) Kondisi transistor saat mendapat tegangan 5 volt dari mikrokontroler	35
<i>Gambar 4.6</i> Rangkaian pengujian rele dengan Arduino	36
<i>Gambar 4.7</i> Rangkaian pengujian sensor arus.	37
<i>Gambar 4.8</i> Persamaan kalibrasi dan garis regresi linier antara nilai arus di multimeter (absis) dan selisih nilai ADC (ordinat).	39
<i>Gambar 4.9</i> Grafik Arus <i>Pick up</i> dan <i>Drop off</i> pada Prototipe OCR Karakteristik <i>Inverse</i> berbasis Arduino.	44
<i>Gambar 4.10</i> Karakteristik Rele <i>Normally Inverse</i> (I: arus gangguan; t: waktu trip).....	45
<i>Gambar 4.11</i> Karakteristik Rele <i>Very Inverse</i> (I: arus gangguan; t: waktu trip)	47
<i>Gambar 4.12</i> Karakteristik Rele <i>Extremely Inverse</i> (I: arus gangguan; t: waktu trip)	48
<i>Gambar 4.13</i> Karakteristik Rele <i>Long-Time Inverse</i> (I: arus gangguan; t: waktu trip)	50
<i>Gambar 4.144</i> Grafik Perbandingan Karakteristik <i>Normally Inverse</i> , <i>Very Inverse</i> , <i>Extremely Inverse</i> , dan <i>Long-Time Inverse</i>	52
<i>Gambar 4.15</i> Pengujian Gangguan Beban Lebih Karakteristik Rele <i>Normally Inverse</i> (I: arus gangguan; t: waktu trip)	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Dokumentasi	61
Lampiran 2: Listing Program	65
Lampiran 3: Data Sheet	77